

# Reflexiones sobre los contenidos de “Estructura y Arquitectura de Computadores” del Título de Grado de “Ingeniero Informático”

Pedro de Miguel Anasagasti  
Dept. de Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos  
Facultad de Informática  
Universidad Politécnica de Madrid  
pmiguel@fi.upm.es

## Resumen

El autor presenta sus reflexiones personales sobre los contenidos que considera deberían establecerse como troncales en la materia de “Estructura y Arquitectura de Computadores” del nuevo Título de Grado de “Ingeniero Informático”.

### 1. Objetivo y esquema del documento

El objetivo del presente documento es plasmar una serie de ideas sobre el contenido de Estructura y Arquitectura de Computadores en la nueva titulación de Grado de Ingeniero en Informática.

Los contenidos propuestos reflejan la opinión personal del autor, por lo que deben tomarse con la cautela propia de una aportación inicial. Sin embargo, espero que estas páginas puedan servir de base para una fructífera discusión que permita complementar y mejorar las ideas presentadas en ellas.

Nos hemos centrado en la troncalidad Estructura y Arquitectura de Computadores, puesto que, hasta que la misma no esté definida, no parece adecuado plantear la optatividad. Por otro lado, dicha optatividad dependerá mucho del o de los perfiles por los que opte cada universidad, por lo que no parece ni oportuno ni factible intentar plantear unas pautas generales.

Para la elaboración del presente informe se han utilizado como referencias principales el “Libro Blanco: Título de Grado en Ingeniería Informática” [5], las recomendaciones curriculares del ACM e IEEE [1-4, 6] y algunos libros sobre la materia que se han considerado relevantes [7-18].

El documento se estructura en seis secciones principales que cubren los siguientes aspectos:

En la sección de “*Consideraciones Generales*” se plantea la pregunta del peso que debe tener la troncalidad de Estructura y Arquitectura de Computadores

En la sección de “*Mercado laboral del Ingeniero Informático*” se hace un análisis de dicho mercado laboral en base a los datos siguientes: empresas de informática, ocupados en informática y ofertas de trabajo para el Ingeniero Informático.

La sección sobre el “*Libro Blanco*” presenta un resumen de la propuesta de contenidos del Libro Blanco.

La sección de “*ACM-IEE*”, se centra en los contenidos de Estructura y Arquitectura de computadores que se proponen en las diversas titulaciones.

En la sección “Resumen y propuesta” se realiza una propuesta concreta de perfil de Ingeniero Informático y de número de créditos troncales ECTS (European Credit Transfer System) de Estructura y Arquitectura de Computadores.

La sección “*Aspectos formativos de Estructura y Arquitectura de Computadores*” presenta un listado de los aspectos formativos que hemos considerado más importantes.

Finalmente, la sección de “*Propuesta de Contenidos y Objetivos*” plantea los prerrequisitos de la materia y desarrolla los contenidos que se consideran troncales. También se plantean ejemplos de capacidades que deben alcanzar los alumnos.

### 2. Consideraciones generales

Una de las preguntas fundamentales a la hora de proponer los contenidos troncales de una materia determinada de una titulación es la siguiente: ¿qué peso ha de darse a dicha materia?

Para responder a dicha pregunta es conveniente obtener un conocimiento del mercado laboral del Ingeniero Informático, de las recomendaciones que se realizan en el “Libro Blanco: Título de Grado en Ingeniería Informática” y de recomendaciones internacionales como son las de ACM-IEEE. En las secciones siguientes se abordan dichos temas.

En ellos intentaremos definir el perfil de Ingeniero en Informática, para determinar el peso que debe tener la “Estructura y Arquitectura de Computadores”. Compararemos las recomendaciones del “Libro Blanco” con las de ACM-IEEE fijándonos tanto en dicha materia como en las materias prerrequisito como son el “Diseño Lógico” y los “Dispositivos de Almacenamiento”.

### 3. El mercado laboral del Ingeniero Informático

Para intentar conocer el mercado laboral del Ingeniero Informático hemos explorado la web del Instituto Nacional de Estadística (INE) con el objetivo de caracterizar el mercado de los Ingenieros Informáticos. Aunque no hemos encontrado datos muy detallados, sí hemos encontrado datos relativos al número de empresas y al número de ocupados por áreas de actividad empresarial. Consideramos estos datos significativos, puesto que nos

dan una idea macroscópica de la situación industrial en el terreno de la Informática.

### 3.1. Empresas de informática

El INE utiliza los códigos CNAE (Clasificación Nacional de Actividades Económicas) para clasificar las empresas según su actividad. Encontramos dos categorías CNAE que son de nuestro interés: la 30 “Fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos” y la 72 “Actividades informáticas”. La tabla 1 presenta el número de empresas dadas de alta en 2007 para ambas categorías. Observamos un predominio de la pequeña empresa y un bajo número de empresas dedicadas a fabricación.

### 3.2. Ocupados en informática

En el INE también encontramos el número de ocupados según actividad CNAE. La tabla 2 muestra dichos datos.

Aunque lo que más nos hubiese interesado habría sido una tabla de ocupados según la clasificación SISPE o CNO, estos datos de detalle no los ofrece el INE. Solamente hemos conseguido los datos de la tabla 3, relativos a la Comunidad de Madrid, que, aunque algo anticuados, nos permite obtener una idea de las ocupaciones de los Ingenieros Informáticos.

### 3.3. Ofertas de trabajo para el Ingeniero en Informática

También hemos realizado una muestra de las ofertas publicadas en “infojobs” bajo el título “Ingeniero Informático” hemos obtenido 166 ofertas de trabajo que se podían clasificar según muestra la tabla 4.

Otro aspecto importante de las ofertas de trabajo es que no son muy selectivas en cuanto a la titulación de partida.

Aunque los datos de la tabla 4 no se pueden considerar rigurosos, puesto que solamente corresponden a una muestra, y consideramos que debería hacerse un estudio más profundo de la oferta de trabajo de las empresas y administración, sí que los consideramos suficientemente representativos del tipo de ofertas de trabajo que reciben los Ingenieros en Informática.

### 3.4. Conclusiones del mercado laboral del Ingeniero en Informática

Los datos anteriores nos permiten afirmar que el número de Ingenieros Informáticos en ocupaciones de perfil de tipo “Ingeniería de Computadores” en España es casi inexistente en comparación con perfiles de tipo “Ingeniería del Software” o de “Tecnología de los Sistemas de Información”. Adicionalmente, como se ha indicado la oferta de trabajo no es muy selectiva en cuanto a la

Tabla 1 Empresas dadas de alta en 2007 según actividad CNAE. Datos del INE

	<b>30 Fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos</b>	<b>72 Actividades informáticas</b>
<b>Total</b>	<b>1.173</b>	<b>34.398</b>
Sin asalariados	606	20.555
De 1 a 2 asalariados	348	7.732
De 3 a 5 asalariados	112	2.704
De 6 a 9 asalariados	51	1.266
De 10 a 19 asalariados	28	1.062
De 20 a 49 asalariados	18	590
De 50 a 99 asalariados	6	228
De 100 a 199 asalariados	1	137
De 200 a 499 asalariados	2	84
De 500 a 999 asalariados	1	19
De 1000 a 4999 asalariados	0	20
De 5000 ó más asalariados	0	1

Tabla 2 Número de ocupados según actividad CNAE. Datos del INE

	<b>2005</b>	<b>2006</b>
30 Fabricación de máquinas de oficina y equipos informáticos	18.900	18.200
72 Actividades informáticas	154.800	164.500

Tabla 3 Contratos registrados en las TIC por la Comunidad de Madrid, según ocupaciones CNO. Datos de la Comunidad de Madrid.

CNO	Descripción	2003	2004
20310013	Analista de sistemas, nivel superior	1.321	1.684
20310024	Analista de aplicaciones, nivel superior	347	818
20530011	Ingeniero en electrónica, en general	266	253
20530020	Ingeniero en electrónica industrial	186	292
20530031	Ingeniero en electrónica de automoción	4	6
20530042	Ingeniero en electrónica aeronáutica	159	126
20530053	Ingeniero y/o similar en electrónica naval	4	9
20530064	Ingeniero en telecomunicaciones	741	1.234
20530075	Ingeniero de telecomunicaciones de imagen y sonido	94	122
26310015	Analista de aplicaciones, nivel medio	154	433
26310024	Analista de sistemas, nivel medio	304	538
26310033	Analista-programador, nivel medio	1.842	3.431
26390019	Ingeniero técnico en informática, en general	488	837
26390037	Ingeniero técnico en informática de sistemas	73	178
26390046	Ingeniero técnico en informática de gestión	39	117
26390055	Técnico medio en mantenimiento y reparación informático	215	725
26530019	Ingeniero técnico en electrónica, en general	110	151
26530028	Ingeniero técnico en electrónica industrial	94	131
26530064	Ingeniero técnico en telecomunicaciones	260	431
26530073	Ingeniero técnico en telecomunicaciones de imagen y sonido	71	37
<b>Total TIC universitario</b>		<b>8.775</b>	<b>13.557</b>
<b>TOTAL OCUPACIONES Comunidad de Madrid</b>		<b>1.710.153</b>	<b>2.204.554</b>

titulación de partida, por lo que parece totalmente adecuado, de acuerdo con las conclusiones del “Libro Blanco: Título de Grado en Ingeniería Informática”, el plantear una titulación única de Ingeniero en Informática con un perfil bastante genérico pero, en todo caso, más bien orientado al desarrollo software y administración de sistemas.

Eso no quita para que, en base a la optatividad, se puedan ofrecer perfiles específicos, entre los que se

deberá contemplar el de “Ingeniería de Computadores”.

#### 4. Libro Blanco

El “Libro Blanco” plantea un grado único de 240 créditos ECTS y de 4 años de duración. El 60%, es decir, 144 se consideran troncales y el 40% restante serían determinadas discrecionalmente por cada universidad.

La tabla 5 muestra la propuesta de créditos conteni-

Tabla 4 Perfil de las ofertas de trabajo para el Ingeniero Informático

Desarrollo software	70%
Administración de sistemas	16%
Comercial	10%
Otros	4%

Tabla 5 Propuesta de créditos del Libro Blanco

Categorías		Subcategorías
	Min/Max	
Fundamentos científicos	10/15% 24/36 ECTS	<b>Fundamentos matemáticos de la Informática:</b> Matemática discreta, lógica, álgebra, análisis, estadística. <b>Fundamentos físicos de la Informática:</b> Electromagnetismo, teoría de circuitos, electrónica. <b>Programación:</b> Fundamentos y metodología de la programación, Algoritmia, Computabilidad, Lenguajes de programación. Paradigmas de programación. Estructuras de datos. <b>Ingeniería del Software, Sistemas de Información y Sistemas Inteligentes:</b> Desarrollo de software: Procesos, Requisitos, Especificación y Diseño. Gestión de Proyectos, Calidad del Software, Interacción Persona-Computadora. Bases de Datos. Inteligencia Artificial. <b>Sistemas Operativos, Sistemas Distribuidos y Redes:</b> Sistemas Operativos, Sistemas Distribuidos, Sistemas de Tiempo Real, Arquitectura e Infraestructura de Redes y Servicios Telemáticos, Seguridad. <b>Ingeniería de Computadores:</b> Fundamentos, Estructura y Arquitectura de computadores. Tecnología de Computadores. <b>Gestión de las organizaciones:</b> Administración y Gestión de Organizaciones, Economía, Gestión del Conocimiento.
Contenidos específicos de la Ingeniería Informática	35/40% 84/96 ECTS	<b>Ética, legislación y profesión:</b> Aspectos legales y éticos de las TIC, Regulación de la profesión, Informática y Sociedad.
Contenidos generales de la Ingeniería	5/10% 12/24 ECTS	<b>Destrezas profesionales:</b> Comunicación oral y escrita, Negociación, Resolución de problemas y Gestión de conflictos, Gestión de equipos de trabajo, Dominio de lenguas extranjeras.
Proyecto Fin de Carrera	6% 14,4 ECTS	
60% = 144 ECTS		40% = 96 ECTS
<b>Contenidos Formativos Comunes (CFC)</b>		<b>Materias determinadas discrecionalmente por la universidad</b>

da en el “Libro Blanco: Título de Grado en Ingeniería Informática”.

El “Libro Blanco” también incluye una propuesta de materias determinadas discrecionalmente por la universidad, formada por los siguientes bloques temáticos:

*Bloque temático 1. Tecnologías Avanzadas de la Programación*

Tecnologías orientadas a componentes, Sistemas multiagentes, Plataformas Middleware.

*Bloque temático 2. Ingeniería del Software*

Tecnologías de Diseño de Software, Herramientas y Entornos de desarrollo, Fiabilidad del Software, Gestión de Proyectos y Aseguramiento de la Calidad del Software, Bases de Datos federadas y distribuidas, Ontologías, Interfaces, Protección de Datos.

*Bloque temático 3. Ingeniería de los Computadores*

Arquitecturas paralelas, Sistemas multiprocesador, Supercomputadores, Computación de altas prestaciones, Computación Distribuida, Computación en GRID, Diseño de Microprocesadores, Tecnologías VLSI, Perifé-

ricos, Análisis y Diagnóstico del Hardware, Modelado y Evaluación de Computadores.

*Bloque temático 4. Redes Telemáticas y Sistemas Operativos*

Protocolos de Comunicación, Seguridad y Criptografía, Sistemas Distribuidos, Tecnologías de red, Configuración y Administración de Sistemas Operativos, Configuración y Administración de Redes Telemáticas, Sistemas de Telecomunicación.

*Bloque temático 5. Sistemas de Información*

Diseño, desarrollo y Evaluación de Sistemas de Información, Organización y Coordinación de Sistemas para la distribución de información a través de Internet, Servicios para Web, ERP, CRM, e-Business, Comercio electrónico.

*Bloque temático 6. Gestión y Explotación de la Información*

Uso estratégico de la Información, Aprendizaje a partir de la Información, Gestión del Conocimiento, Análisis y Minería de Datos, Organización, mantenimiento, explotación y presentación de la información, Investigación Operativa.

*Bloque temático 7. Sistemas Inteligentes*

Inteligencia Artificial, Sistemas basados en el conocimiento, Minería de datos, Control inteligente.

*Bloque temático 8. Visualización y Sistemas Multimedia*

Computación Gráfica, Modelado Geométrico, Animación por Computador, Visualización y Realidad Virtual, Interacción Persona-Computador, Síntesis de Imagen y Audio, Edición y Postproducción de Imagen y Audio, Producción Multimedia, Simulación y Juegos.

*Bloque temático 9. Informática Industrial*

Automática y Control Industrial, Sistemas de Tiempo Real, Robótica, Visión Artificial, Sistemas Empotrados, Sistemas Integrados de Propósito Específico, Simulación.

*Bloque temático 10. Dominios de aplicación de la informática*

Bioinformática, Informática Médica, Comercio electrónico, Informática del Ocio, Mercados Financieros y otros.

*Bloque Temático 11. Las empresas del sector de las tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)*

Sociedad de la Información y del Conocimiento, Las empresas TIC en un contexto global, Dimensión, Estructura de la propiedad y control, Modelos, Gestión de las TIC en el Sector público y el Sector privado.

Aunque en esta propuesta nos limitaremos a la troncalidad del Grado en “Estructura y Arquitectura de Computadores”, nos parece interesante tener presentes el resto de la troncalidad, especialmente la de “Sistemas Operativos, Sistemas Distribuidos y Redes, así como los temas del “Bloque temático 3. Ingeniería de los Computadores” y del “Bloque temático 9. Informática Industrial” que se reservan a la discrecionalidad de la universidad.

## 5. Recomendaciones ACM-IEEE

Las recomendaciones de ACM-IEEE también van dirigidas a un grado de 4 años, con una carga típica de 124 créditos, por lo que se puede decir que el crédito USA es aproximadamente equivalente a 2 créditos ECTS.

En las recomendaciones de ACM-IEEE se utiliza la hora lectiva como unidad, indicando que una asignatura de 3 créditos típicamente equivale a 40 horas lectivas. Además, según ACM-IEEE, cada hora lectiva exige otras 3 de trabajo por parte del alumno. Por lo tanto, una asignatura de 3 créditos equivale a  $40 \cdot 4 = 160$  horas.

Por otro lado, un crédito ECTS supone 25 horas de trabajo del alumno, por lo que las 160 horas anteriores de asignatura de 3 créditos USA supondrían 6,4 créditos ECTS. Lo que confirma que un el crédito USA equivale, aproximadamente, a 2 créditos ECTS

ACM-IEEE identifica los cinco grados siguientes en el ámbito de la informática:

- Computer Science CS
- Software Engineering SE
- Computer Engineering CE
- Information Systems IS
- Information Technology IT

La figura 1, tomada de Computing Curricula 2005, muestra en cierta forma las diferencias fundamentales entre estas distintas titulaciones y la de Electrical Engineering EE.

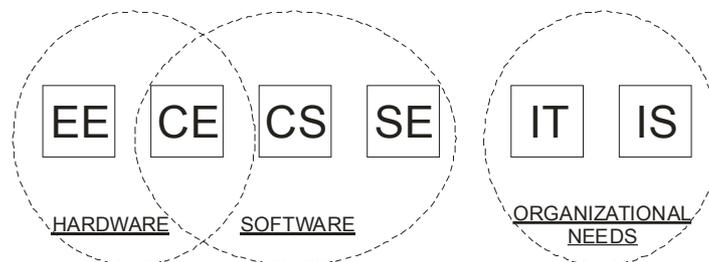


Figura 1. Visión que pueden tener los alumnos de las distintas titulaciones (Fuente: Computing Curricula 2005).

Por su lado, la tabla 6 muestra el interés que para cada titulación tienen los temas de “Estructura y Arquitectura de Computadores” y de “Diseño Digital”.

### 5.1. Título de Computer Science

Esta titulación se desarrolla en el “Computing Curricula 2001 Computer Science”. La tabla 7 muestra la propuesta troncal. Observamos que consiste en unos 42 créditos ECTS, es decir, la mitad de la troncalidad específica propuesta por el Libro Blanco. Se puede observar que no aparece la “Lógica Digital” y que “Estructura y Arquitectura de Computadores” tiene 5,4 créditos ECTS, que, proporcionalmente, se convierten en unos 11-12 créditos ECTS si pasamos a una troncalidad de 84 a 96 créditos ECTS.

Los temas propuestos para “Architecture and Organization” se muestran en la tabla 8.

Podemos observar que incluye los conocimientos necesarios de “Diseño Lógico”, puesto que no se incluye de forma específica esta materia.

### 5.2. Título de Computer Engineering

Esta titulación se desarrolla en el “Computer Engineering 2004” La tabla 9 presenta la troncalidad de dicha titulación. En este caso se han incluido las matemáticas, por lo que la troncalidad es mayor. Observamos que “Estructura y Arquitectura de Computadores” tiene 9,45 créditos ECTS, para una troncalidad de 72,9 créditos ECTS, que si la comparamos a los 108/132 créditos ECTS de troncalidad que propone el “Libro Blanco” como troncalidad científica más específica obtendríamos unos 14-17 créditos ECTS. Observamos también la importancia que tiene en esta titulación el “Diseño Lógico”, la “Electrónica” y el “Diseño VLSI”.

La tabla 10 desarrolla los contenidos propuestos para “Computer Architecture and Organization”. Se puede observar un enfoque mucho más dirigido al diseño que en la asignatura del perfil Computer Science.

Tabla 6 Interés de la materia según la titulación (Fuente: Computing Curricula 2005).

<i>Knowledge Area</i>	<i>CE</i>		<i>CS</i>		<i>IS</i>		<i>IT</i>		<i>SE</i>	
	min	max								
Computer Architecture and Organization	5	5	2	4	1	2	1	2	2	4
Digital logic	5	5	2	3	1	1	1	1	0	3

Tabla 7 “Computer Science” body of knowledge

<b>Materia</b>	<b>Horas troncales</b>	<b>ECTS equivalentes</b>
DS. Discrete Structures	43	6,45
PF. Programming Fundamentals	38	5,7
AL. Algorithms and Complexity	31	4,65
<b>AR. Architecture and Organization</b>	<b>36</b>	<b>5,4</b>
OS. Operating Systems	18	2,7
NC. Net-Centric Computing	15	2,25
PL. Programming Languages	21	3,15
HC. Human-Computer Interaction	8	1,2
GV. Graphics and Visual Computing	3	0,45
IS. Intelligent Systems	10	1,5
IM. Information Management	10	1,5
SP. Social and Professional Issues	16	2,4
SE. Software Engineering	31	4,65
CN. Computational Science	0	
<b>TOTAL</b>	<b>280</b>	<b>42</b>

Tabla 8 Materias de “Architecture and Organization” en “Computer Science”

<b>Materia</b>	<b>Horas troncales</b>	<b>%</b>
AR1. Digital logic and digital systems	6	16,7
AR2. Machine level representation of data	3	8,3
AR3. Assembly level machine organization	9	25,0
AR4. Memory system organization and architecture	5	13,9
AR5. Interfacing and communication	3	8,3
AR6. Functional organization	7	19,4
AR7. Multiprocessing and alternative architectures	3	8,3
AR8. Performance enhancements	0	0,0
AR9. Architecture for networks and distributed systems	0	0,0

Tabla 9 “Computer Engineering” body of knowledge

<b>Materia</b>	<b>Horas troncales</b>	<b>ECTS equivalentes</b>
CE-ALG Algorithms	30	4,5
<b>CE-CAO Computer Architecture and Organization</b>	<b>63</b>	<b>9,45</b>
CE-CSE Computer Systems Engineering	18	2,7
CE-CSG Circuits and Signals	43	6,45
CE-DBS Database Systems	5	0,75
CE-DIG Digital Logic	57	8,55
CE-DSP Digital Signal Processing	17	2,55
CE-ELE Electronics	40	6
CE-ESY Embedded Systems	20	3
CE-HCI Human-Computer Interaction	8	1,2
CE-NWK Computer Networks	21	3,15
CE-OPS Operating Systems	20	3
CE-PRF Programming Fundamentals	39	5,85
CE-SPR Social and Professional Issues	16	2,4
CE-SWE Software Engineering	13	1,95
CE-VLS VLSI Design and Fabrication	10	1,5
CE-DSC Discrete Structures	33	4,95
CE-PRS Probability and Statistics	33	4,95
<b>TOTAL</b>	<b>486</b>	<b>72,9</b>

### 5.3. Título de Software Engineering

Esta titulación se desarrolla en el “Software Engineering 2004” La tabla 11 presenta la troncalidad de dicha titu-

lación. Se puede observar que “Estructura y Arquitectura de computadores” no aparece explícitamente. Sin embargo, dentro de “Computing Essentials” se han incluido las secciones AR1 a AR5 del CCCS2001, lo que supone 26 horas o 3,9 créditos ECTS, que, teniendo en cuenta la troncalidad total, equivaldría, siguiendo los

Tabla 10 Materias de “Computer Architecture and Organization” en “Computer Engineering”

<b>Materia</b>	<b>Horas troncales</b>	<b>%</b>
CE-CAO0 History and overview	1	1,6
CE-CAO1 Fundamentals of computer architecture	10	15,9
CE-CAO2 Computer arithmetic	3	4,8
CE-CAO3 Memory system organization and architecture	8	12,7
CE-CAO4 Interfacing and communication	10	15,9
CE-CAO5 Device subsystems	5	7,9
CE-CAO6 Processor systems design	10	15,9
CE-CAO7 Organization of the CPU	10	15,9
CE-CAO8 Performance	3	4,8
CE-CAO9 Distributed system models	3	4,8
CE-CAO10 Performance enhancements	0	0,0

Tabla 11 “Software Engineering” body of knowledge

<b>Materia</b>	<b>Horas troncales</b>	<b>ECTS equivalentes</b>
CMP Computing Essentials	172	25,8
FND Mathematical & Engineering Fundamentals	89	13,35
MAA Software Modeling & Analysis	53	7,95
DES Software Design	45	6,75
VAV Software V & V	42	6,3
EVL Software Evolution	10	1,5
PRO Software Process	13	1,95
QUA Software Quality	16	2,4
MGT Software Management	19	2,85
<b>TOTAL</b>	<b>459</b>	<b>68,85</b>

criterios aplicados en la sección anterior, a 6-7,5 créditos ECTS.

## 6. Propuesta general

Basándonos en los datos planteados en las secciones anteriores y de la experiencia personal se plantean los siguientes puntos generales de cara a la titulación de “Ingeniero en Informática” y de la materia de “Estructura y Arquitectura de Computadores”.

- Parece indicado plantear una titulación única de Ingeniero en Informática que tenga un perfil genérico que puede estar próximo a la propuesta de “Computer Science” del ACM-IEEE.

- Partiendo de esa base sería razonable dedicar 12 créditos ECTS troncales a “Estructura y Arquitectura de Computadores”.
- Como se concretará en la sección 1.1.1 Prerrequisitos de Estructura y Arquitectura de Computadores, existen unos prerrequisitos de tipo “Diseño Lógico” y de “Dispositivos” que pueden estar cubiertos o no por alguna asignatura anterior. En caso de estar cubiertos, se deberán eliminar del programa de “Estructura y Arquitectura de Computadores”. Adicionalmente, es conveniente que el alumno, cuando se llegue a la parte de ensamblador, ya tenga unos conocimientos básicos de programación en lenguajes de alto nivel.

En secciones sucesivas se realiza un encuadre de “Estructura y Arquitectura de Computadores”, para el perfil generalista del “Ingeniero en Informática” y se

desarrolla una propuesta detallada de los contenidos que se consideran troncales.

## 7. Aspectos formativos de “Estructura y Arquitectura de Computadores”

Consideramos que “Estructura y Arquitectura de Computadores” cubre tres tipos de formación:

*Formación básica en:*

- Evolución histórica de los computadores.
- Funcionamiento y características del computador.
- Paralelismo.

*Atribuciones y competencias profesionales a las que contribuye:*

- Evaluación del rendimiento y dimensionamiento de sistemas.
- Programación de sistemas.
- Optimización de código.
- Seguridad de sistemas.

*SopORTE a las materias siguientes:*

- Compiladores.
- Redes.
- Sistemas operativos.
- Diseño y construcción de computadores.
- Administración y mantenimiento de sistemas.
- Programación paralela.

## 8. Propuesta de contenidos y objetivos

En esta sección se hace una propuesta de los contenidos y objetivos troncales de “Estructura y Arquitectura de Computadores”. Dichos contenidos se han organizado en secciones, a las que se ha asignado un peso expresado en créditos ECTS:

Aunque en cierta medida los temas están ordenados

de acuerdo a una posible secuencia de exposición, existen otras alternativas igualmente válidas.

Finalmente queremos resaltar que se ha hecho un planteamiento general de contenidos, sin entrar en una posible división en dos asignaturas, puesto que consideramos que ello debería ser una labor a realizar una vez alcanzado un consenso sobre contenidos y objetivos troncales. Adicionalmente, cada universidad, en base a los contenidos adicionales que pueda incluir, deberá definir la mejor forma de cubrir la mencionada troncalidad.

### 8.1. Objetivos generales de “Estructura y Arquitectura de Computadores”

Los objetivos generales a cubrir por la troncalidad de “Estructura y Arquitectura de Computadores” son los siguientes:

Formar al alumno en el funcionamiento del computador, su evolución histórica y sus tendencias actuales.

A través del conocimiento de cómo ejecuta un computador un programa, almacena la información y se comunica con los periféricos debe permitir al alumno diseñar aplicaciones contemplando prestaciones, seguridad, portabilidad y robustez.

Debe servir como base para materias tales como compiladores, sistemas operativos, redes y arquitecturas avanzadas.

Debe capacitar al alumno para la evaluación y el dimensionamiento de sistemas, dotándole de una sólida base para la administración de sistemas.

Ha de introducir al alumno en la problemática del paralelismo y de las implicaciones de su explotación.

### 8.2. Contenidos de “Estructura y Arquitectura de Computadores”

Los apartados en los que se ha dividido “Estructura y Arquitectura de Computadores”, con los pesos en créditos

Tabla 12 Propuesta de ECTS para Estructura y Arquitectura de Computadores

	ECTS	ECTS
Prerrequisitos de Estructura y Arquitectura de Computadores	1,5	-
Introducción	1,0	1,0
Representación y tratamiento de la información	1,5	1,5
Jerarquía de memoria	1,5	1,7
Instrucciones y direccionamiento. Ensamblador	2,0	2,0
Ejecución de instrucciones	1,2	1,5
Entrada-salida	1,5	1,7
Arquitecturas con paralelismo explícito	0,8	1,3
Procesadores con paralelismo interno	0,5	0,8
SopORTE para el sistema operativo	0,5	0,5
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

tos ECTS asignado a cada uno de ellos, son los mostrados en la tabla 12.

Se puede observar que se han incluido dos alternativas de asignación de créditos ECTS. La primera columna se refiere al caso en que los prerrequisitos se imparten dentro de “Estructura y Arquitectura de Computadores”, mientras que la segunda considera que dichos prerrequisitos se imparten en otra u otras asignaturas previas.

La diferencia de pesos se debe a los siguientes criterios:

En los apartados de “Jerarquía de memoria”, “Ejecución de instrucciones” y “Entrada-salida” se aumentan los créditos ECTS, en la segunda alternativa, para dar una mayor cobertura a los aspectos de prestaciones y evaluación.

Los apartados de “Arquitecturas con paralelismo explícito” y “Procesadores con paralelismo interno” se amplían, en la segunda alternativa, para incrementar la profundidad de los mismos.

Seguidamente se desarrolla cada apartado para el caso de incluir los prerrequisitos. Se determinan los temas que deberían abordarse y se presentan algunos ejemplos de habilidades que el alumno debería tener al finalizar el estudio del mismo.

### 1.1.1. Prerrequisitos de Estructura y Arquitectura de Computadores

#### *Enfoque del tema*

Los prerrequisitos de “Estructura y Arquitectura de Computadores” son los relativos, por un lado, a un conocimiento básico de los circuitos lógicos y los sistemas digitales y, por otro lado, a los dispositivos periféricos, en especial a los de almacenamiento. Si dichos prerrequisitos no se abordan en una asignatura previa, se han de incluir dentro de los temas de Estructura y Arquitectura de Computadores.

Se considera, además, que el alumno ya ha cursado o está cursando simultáneamente alguna asignatura de programación imperativa, por lo que ya tiene un conocimiento básico de programación en lenguajes de alto nivel al abordar el tema de ensamblador.

#### *Prerrequisitos de sistemas digitales*

*Los temas que deben conocer los alumnos son los siguientes:*

- Elementos constructivos fundamentales de los sistemas digitales (tales como puertas lógicas, multiplexores, biestables, registros, contadores y PLA).
- Expresiones lógicas y minimización.
- Concepto de sistemas digital síncrono y de transferencia entre registros. Cronograma de una operación de transferencia elemental.
- Parámetros operativos principales (tales como retardo, fan-in, fan-out y consumo energético).

*El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Analizar un circuito sencillo combinacional o secuencial, obteniendo las expresiones matemáticas que lo describen.

- Diseñar un circuito sencillo utilizando los elementos constructivos fundamentales.

#### *Prerrequisitos de dispositivos de almacenamiento y otros periféricos*

*Los temas que deben conocer los alumnos son los siguientes:*

- Tecnologías electrónica, magnética y óptica.
- Tecnología de los chips de memoria (DRAM, EPROM y FLASH). Ciclo de acceso simple y de bloque.
- El disco magnético, óptico y electrónico. Tiempo de acceso y velocidad de transferencia.
- Otros periféricos.

*El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Seleccionar el tipo de chip de memoria para una determinada aplicación.
- Comparar los tiempos de acceso y las velocidades de transferencia de un disco duro y de una memoria DRAM o de un disco FLASH.

### 1.1.2. Introducción

#### *Enfoque del tema*

En este tema el alumno debe obtener una visión global de la historia, estructura, arquitectura y prestaciones del computador, lo que le permita ir abordando los temas siguientes encajándolos en un esquema general.

#### *Temas a tratar:*

- Historia de los computadores. Ley de Amdahl.
- Estructura del computador von Neumann.
- Función, características y prestaciones generales de cada unidad funcional.
- Concepto de arquitectura del computador.
- Instrucción máquina, programa y secuencia de ejecución de las instrucciones máquina.
- Unidades y prefijos informáticos.
- Prestaciones del computador. Frecuencia de reloj. MIPS. Ciclos/instrucción. Consumo.

*El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Mediante extrapolación determinar los computadores que posiblemente tendrá disponibles en un plazo de 5 años.
- Calcular el tiempo que tardaría en ejecutar un programa lineal de un determinado tamaño.
- Convertir entre unidades informáticas.
- Describir las unidades funcionales del computador, su función, interrelación y características.

### 1.1.3. Representación y tratamiento de la información

#### *Enfoque del tema*

El alumno ha de formarse en las características y limitaciones de los distintos sistemas de representación de la información, y conocer los operadores que incorpora un

computador, pero sin entrar en el detalle del diseño interno de los mismos.

*Temas a tratar:*

- Bit y tamaños privilegiados (byte y palabra).
- Representación textual (sistemas ASCII y Unicode). Cadenas de texto.
- Representación gráfica (vectorial y raster o matricial).
- Representación numérica. Enteros sin y con signo. Reales. Estándar IEEE 754.
- Rango y precisión. Redondeo. Desbordamiento.
- Operaciones típicas de una unidad aritmético-lógica.
- Resultados y bits de estado.
- Esquema del sumador elemental y paralelo en binario sin signo.
- Representación de datos compuestos (registros y matrices).
- Técnicas de compresión de la información.

*El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Interpretar una cadena de bits o zona de memoria del computador de acuerdo al sistema o los sistemas de representación utilizados, tanto para datos numéricos como textuales.
- Seleccionar el tipo de representación más adecuado a una situación textual, gráfica o numérica.
- Convertir números de un sistema de representación a otro y realizar operaciones sencillas.
- Determinar el error cometido al representar un dato o un resultado numérico entero o real.
- Determinar el estado de los bits de estado después de realizar una operación determinada.
- Calcular el rango y la precisión de un sistema de representación numérico para conocer las limitaciones del computador.
- Proyectar un conjunto de datos dados en la memoria de un computador.

#### 1.1.4. Jerarquía de memoria

*Enfoque del tema*

El alumno ha de comprender las motivaciones y la justificación de la jerarquía de memoria, sus parámetros de funcionamiento así como los principios generales de gestión de la misma. El alumno ha de comprender el papel del sistema operativo en la gestión de memoria.

*Temas a tratar:*

- Concepto y necesidad de la jerarquía de memoria.
- Estructura de la memoria principal y prestaciones. Proyección de datos.
- Proximidad referencial.
- Memoria cache. Estructura y prestaciones. Políticas de reemplazo y escritura.
- Memoria virtual. Segmentación. Paginación. Tabla de páginas, MMU y TLB.

- Gestión de la memoria virtual.
- Prestaciones de la jerarquía de memoria. Impacto de la organización de datos.

*El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Comparar el tiempo de ejecución de un programa en un sistema con y sin memoria cache.
- Comparar el tiempo de CPU y el tiempo real de ejecución de un programa que produzca un determinado número de fallos de página.
- Calcular la evolución de la tabla de páginas para la ejecución de una secuencia determinada.
- Detallar los pasos para el tratamiento de un fallo de cache y de página, identificando el responsable de cada uno.
- Determinar, para un acceso concreto, si se producirá error de acceso a memoria o no, o si se producirá fallo de página.
- Optimizar un programa y sus datos adecuándolos a la jerarquía de memoria.

#### 1.1.5. Instrucciones y direccionamiento. Ensamblador

*Enfoque del tema*

El alumno ha de conocer el juego de instrucciones y modos de direccionamiento, entendiendo la problemática de almacenamiento de datos e instrucciones y llegando a diseñar pequeñas rutinas en lenguaje ensamblador y su enlace con lenguaje de alto nivel.

*Temas a tratar:*

- Juego de instrucciones. RISC y CISC. Frecuencia de ejecución.
- Modos de direccionamiento
- Formatos de las instrucciones
- Llamadas a procedimiento y retorno de procedimiento. Paso de parámetros.
- Lenguaje ensamblador.
- Origen de un programa. Reubicación y código reubicable. Código reentrante.
- Conversión de código de alto nivel.

*El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Seleccionar los modos de direccionamiento más adecuados para acceder a datos específicos.
- Determinar si un código es reubicable o no y si es reentrante o no.
- Determinar si un juego de instrucciones es RISC o CISC.
- Escribir pequeños segmentos de código ensamblador.
- Convertir un pequeño fragmento de código de alto nivel a ensamblador.
- Conectar un fragmento escrito en ensamblador con un programa escrito en lenguaje de alto nivel.

### 1.1.6. Ejecución de instrucciones

#### *Enfoque del tema*

El alumno ha de comprender el funcionamiento interno de un computador elemental síncrono, siendo capaz de descomponer una instrucción máquina en las necesarias operaciones elementales. Encadenamiento de instrucciones y ruptura de la secuencia lineal.

#### *Temas a tratar:*

- Estructura simple del computador. Unidades funcionales, buses, bits de estado y señales de control.
- Fases de una instrucción máquina.
- Descomposición de las instrucciones de máquina en operaciones elementales.
- Cronograma de una instrucción sencilla.
- Unidad de control.
- Concepto de control almacenado. Microprogramación.
- Concepto general de interrupción. Excepción e interrupción externa.

#### *El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Descomponer una instrucción máquina en operaciones elementales.
- Generar el cronograma de una instrucción sencilla.
- Generar el microprograma de una instrucción sencilla.
- Calcular los MIPS de una máquina.

### 1.1.7. Entrada-salida

#### *Enfoque del tema*

El alumno ha de conocer los tipos y características de los buses externos y de los distintos tipos de entrada/salida, siendo capaz de determinar sus ámbitos de aplicación. Especial atención ha de darse al concepto de interrupción.

#### *Temas a tratar:*

- Transferencia de palabras y de bloques. Necesidades de los periféricos.
- Bus paralelo y serie. Ciclo de transferencia. Direccionamiento. *Handshaking*. Prioridades. Prestaciones.
- Entrada-salida programada. Almacenamiento.
- Captura de eventos externos. Concepto de espera activa. Programa ejemplo de espera activa.
- Concepto de interrupción. Ciclo de aceptación. Interrupciones vectorizadas. Prioridades y niveles.
- Concepto de concurrencia. Concepto de espera pasiva.
- DMA. Robo de ciclo. Memoria multipuerta. Canal.
- Comparación de prestaciones entre los distintos modos de entrada-salida.

#### *El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Seleccionar el tipo de entrada-salida más adecuado para una situación específica.
- Determinar las necesidades de ancho de banda de unos periféricos determinados.
- Programar operaciones de E/S para un dispositivo sencillo.
- Determinar la ocupación del procesador para una determinada operación de entrada-salida.
- Calcular la ocupación de un bus para una configuración de dispositivos determinada.

### 1.1.8. Arquitecturas con paralelismo explícito

#### *Enfoque del tema*

El alumno ha de adquirir una perspectiva general de las alternativas de paralelismo explícito existentes y de sus características más importantes, lo que le permita determinar los ámbitos de aplicación de las mismas.

#### *Temas a tratar:*

- SIMD. MIMD (multiprocesador y multicomputador). VLIW. Vectorial. Sistólico.
- Comunicación entre procesadores. Interrupción entre procesadores. Redes principales de interconexión: Topologías, características y prestaciones.
- Coherencia en el sistema de memoria.
- Paralelismo de las aplicaciones. Granularidad. Necesidades de comunicación.
- Estilos de programación.
- Prestaciones del sistema paralelo. Cuellos de botella. Escalabilidad.

#### *El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Determinar el tipo de paralelismo inherente a una determinada situación/aplicación.
- Seleccionar el tipo de máquina para una determinada situación/aplicación.
- Localizar el cuello de botella para una determinada situación/aplicación.
- Determinar el tipo de programación más adecuada para una aplicación tipo sencilla.

### 1.1.9. Procesadores con paralelismo interno

#### *Enfoque del tema*

El alumno ha de conocer de forma general las técnicas constructivas actuales, su problemática y su impacto sobre las prestaciones del computador.

#### *Temas a tratar:*

- Concepto de segmentación. Principales causas de *hazards*.
- Sistema superescalar.
- Predicción de bifurcaciones.
- Ejecución especulativa.
- Multithreading.
- Prestaciones y escalabilidad. Impacto del sistema de memoria.

*El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Determinar los *hazards* que se producen en la ejecución de una secuencia de instrucciones determinada.
- Calcular los CPI tanto en máquinas segmentadas como superescalares.
- Calcular los MIPS de pico tanto en máquinas segmentadas como superescalares.
- Estimar los MIPS reales de una aplicación descrita mediante métricas sencillas.

#### **1.1.10. Soporte para el sistema operativo**

*Enfoque del tema*

Se trata de que el alumno enlace esta materia con los sistemas operativos, comprendiendo la interrelación entre ambos y los mecanismos hardware incorporados en los computadores para soportar el sistema operativo.

*Temas a tratar:*

- Protección de memoria en sistemas de memoria real y de memoria virtual. Reubicación de programas.
- Máquina protegida. Modos de ejecución núcleo y usuario. Instrucciones privilegiadas.
- Instrucciones TRAP y TEST-AND-SET.
- Soporte para máquina virtual.
- Arranque del computador y estructuras de información creadas por el SO.

*El alumno ha de ser capaz, por ejemplo, de:*

- Desarrollar los pasos de una interrupción en máquina protegida.
- Determinar las situaciones en las que es conveniente el uso de las instrucciones TRAP y TEST-AND-SET.
- Determinar las vulnerabilidades de seguridad en el arranque del computador.

#### **Referencias**

- [1] «Computer Engineering 2004. Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Engineering», ACM-IEEE, 12 diciembre 2004.
- [2] «Computing Curricula 2001. Computer Science», ACM-IEEE, 15 diciembre 2001.
- [3] «Computing Curricula 2005. The Overview Report», ACM-IEEE, 30 septiembre 2005.
- [4] «IS 2002. Model Curriculum and Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems», ACM-IEEE, 2002.
- [5] «Libro Blanco: Título de Grado en Ingeniería Informática», Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, Junio 2005.
- [6] «Software Engineering 2004. Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering», ACM-IEEE, 23 agosto 2004.
- [7] Abd-El-Barr M. Y El-Rewini H. «Fundamentals of Computer Organization and Architecture», Wiley-Interscience, 4 octubre 2005.

- [8] Carter N. «Schaum's Outline of Computer Architecture», McGraw-Hill; 26 diciembre 2001.
- [9] El-Rewini H. y Abd-El-Barr M. «Advanced Computer Architecture and Parallel Processing», Wiley-Interscience, 18 enero 2005.
- [10] Hamacher C., Vranesic Z., Zaky S., «Computer Organization 5th edition», McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 2 agosto 2001.
- [11] Hennessy J. y Patterson D. «Computer Architecture. A Quantitative Approach», Morgan Kaufmann, 13 septiembre 2006.
- [12] Miguel P. «Fundamentos de los Computadores, 9ª edición», Thomson, enero 2004.
- [13] Murdocca M.J. y Heuring V.P. «Computer Architecture and Organization: An Integrated Approach», Wiley, 16 marzo 2007.
- [14] Null L. y Lobur J. «The Essentials of Computer Organization and Architecture, Second Edition», Jones and Bartlett Publishers, 15 febrero 2006.
- [15] Ortega J., Anguita M. y Prieto A. «Arquitectura de computadores», Thomson, 2005.
- [16] Patterson D. y Hennessy J. «Computer Organization and Design. The Hardware/Software Interface. Third Edition», Morgan Kaufmann, 6 junio 2007.
- [17] Stallings W. «Computer Organization and Architecture: Designing for Performance (7th Edition) », Prentice Hall; 11 julio 2005.
- [18] Tanenbaum A.S. «Structured Computer Organization, 5/E», Prentice Hall; 5 edición, 15 junio 2005.